

**Method for monitoring deformations with light waveguides**

Patent Number: ☐ US5044205  
Publication date: 1991-09-03  
Inventor(s): WOLFF REINHARD (DE); MIESSELER HANS-JOACHIM (DE); WEISER MARTIN (DE)  
Applicant(s): STRABAG BAU AG (DE)  
Requested Patent: ☐ DE3635053  
Application Number: US19900571838 19900824  
Priority Number (s): DE19863635053 19861015  
IPC Classification: G01L1/24  
EC Classification: G01B11/18, G01M11/08  
Equivalents: CA1311939, ☐ EP0264622, B1, JP2509255B2, ☐ JP63109306, NO172009B, NO172009C, NO874307

---

**Abstract**

---

A method for the monitoring of deformation of components with light waveguides which are connected securely to the component at least over part of the length of the latter and are connected to a measuring apparatus with which the transmitting capacity of the light waveguide and the transit time and/or the damping of the light pulses sent through the light waveguides are continuously or intermittently monitored. The light waveguides are prestressed such that they remain in tension at all levels of deformation expected.

---

Data supplied from the esp@cenet database - I2



①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Pat ntschrift**  
⑩ **DE 36 35 053 C 2**

⑤① Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**G 01 B 11/16**  
G 01 M 13/00

②① Aktenz ich n: P 36 35 053.2-52  
②② Anmeldetag: 15. 10. 86  
④③ Offenlegungstag: 21. 4. 88  
④⑤ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 28. 9. 95

DE 3635053 C 2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:  
STRABAG AG, 50679 Köln, DE

⑦④ Vertreter:  
Buschhoff-Hennicke-Vollbach, 50672 Köln

⑦② Erfinder:  
Antrag auf Nichtnennung

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE	33 05 234 A1
DE	31 31 870 A1
DE	30 15 391 A1
EP	00 25 815 A1

⑤④ Verfahren zum Überwachen der Verformungen von Bauteilen mittels Lichtwellenleitern sowie  
Lichtwellenleiter zur Durchführung des Verfahrens und Verfahren zu seiner Herstellung

DE 3635053 C 2

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Überwachen der Verformungen von Bauteilen mittels Lichtwellenleitern, die mindestens auf einer Teillänge des Bauteiles mit diesem fest verbunden werden, wobei die Lichtwellenleiter vor ihrer festen Verbindung mit dem Bauteil mechanisch vorgespannt und an ein Meßgerät angeschlossen werden, mit dem die Durchgängigkeit der Lichtwellenleiter und die Laufzeit und/oder die Dämpfung der durch die Lichtwellenleiter hindurchgeschickten Lichtimpulse ständig oder intermittierend überprüft werden, wie aus DE 31 31 870 A1 bekannt, sowie einen Lichtwellenleiter zur Durchführung des Verfahrens und ein Verfahren zu seiner Herstellung.

Es ist bekannt, Bauteile von Maschinen und Fahrzeugen, insbesondere von Flugzeugen, aber auch die Bauteile von Bauwerken mit Hilfe von Lichtwellenleitern zu überwachen, um frühzeitig Verformungen festzustellen, die einen Bruch oder ein sonstiges Versagen des Bauteiles in der Maschine oder im Bauwerk ankündigen. Die hierbei verwendeten Lichtwellenleiter bestehen aus einer oder mehreren, sehr dünnen Lichtleitfasern aus Quarzglas mit hohem Brechungsindex, die in einem Schutzmantel aus Faserverbundwerkstoff, z. B. GFK, eingebettet sind. Eine Dehnung der Lichtwellenleiter in Längsrichtung führt zu einer Querkontraktion der Lichtleitfaser, die einen Dämpfungseffekt für die durch die Lichtleitfaser hindurchgeschickten Lichtimpulse zur Folge hat. Dieser Dämpfungseffekt ist ein Maß für die Dehnung der Lichtleitfaser. Wird die Elastizitätsgrenze der Lichtleitfaser überschritten, so kommt es zum Bruch der Lichtleitfaser, die an der Bruchstelle den Lichtimpuls nicht weiterleitet, sondern reflektiert. Aus der nicht mehr vorhandenen Durchgängigkeit der Lichtleitfaser und der vom Meßgerät gemessenen Lichtlaufzeiten kann die Entfernung der Bruchstelle vom Meßgerät bzw. vom Ende des Lichtwellenleiters bestimmt werden.

Bei der Überwachung von auf Zug beanspruchten Bauteilen ist es bekannt, den Lichtwellenleiter auf der Außenseite des zu überwachenden Bauteiles aufzukleben oder den Lichtwellenleiter in das Bauteil einzubetten (DE 29 37 824 C2). Anfang und Ende des Lichtwellenleiters werden dann mit einem Licht-Durchgangsprüfgerät verbunden, mit dem die Durchgängigkeit eines Lichtstrahles durch den Lichtleiter und die Dämpfung des Lichtstrahles im Lichtleiter überwacht wird.

Aus der eingangs genannten DE 31 31 870 A1 ist bekannt, ein Bauteil zum Überwachen von dessen Verformungen mit Lichtwellenleitern zu versehen, die vorgespannt und kraftschlüssig mit dem Bauteil verbunden werden. Je nach Gestalt des Bauteils werden die Lichtwellenleiter unter Vorspannung um das Bauteil herumgewickelt, oder sie werden in Kunststoffschläuchen geführt und an ihren Enden im Bauteil verankert. Mit diesem bekannten Verfahren ist es nur möglich, einen bestimmten Zustand an einer bestimmten Stelle des Bauteiles zu erfassen, der dann eintritt, wenn der vorgespannte Lichtwellenleiter bricht. Es ist jedoch nicht möglich, Verformungen eines Bauteiles quantitativ über dessen Länge festzustellen.

Ferner ist es bekannt, ein Bewehrungselement, nämlich einen Draht aus Faserverbundwerkstoff, mit einem Lichtwellenleiter als Sensor zu versehen (DE 33 05 234 A1). Dieser Lichtwellenleiter ist auf seiner ganzen Länge mit dem Bauteil, d. h. mit dem Bewehrungsdraht verbunden, diesem gegenüber aber nicht vorgespannt. Er kann deshalb nur zur Überwachung

solcher Bauteile eingesetzt werden, die ausschließlich auf Zug beansprucht und gedehnt werden.

Auch bei anderen bekannten Verfahren (DE 30 15 391 A1 und EP 0 025 815 A1) werden als Sensoren benutzte Lichtwellenleiter nur auf Zug beansprucht, wobei eine quantitative Messung über die Längung der Lichtwellenleiter nicht möglich ist.

Mit diesen bekannten Verfahren und den bekannten Lichtwellenleitern können nur solche Bauteile zuverlässig überwacht werden, in denen nur Zugspannungen auftreten. Dagegen ist eine Überwachung von Bauteilen mit über den Querschnitt verteilten, unterschiedlichen Spannungszuständen nicht möglich. Derartige Bauteile sind beispielsweise Teile eines Bauwerkes, die auf Zug und Druck und/oder Biegung beansprucht werden und bei denen über die Länge des Bauteiles im Querschnitt unterschiedliche Spannungszustände auftreten. Die bekannten Lichtwellenleiter haben nämlich die Eigenart, daß sich die Lichtleitfähigkeit der Lichtleitfasern auch unter der Einwirkung von Längsdruckkräften ändert, wenn also die Lichtleitfasern einer Stauchung unterworfen werden. Ist dann ein Lichtwellenleiter auf seiner ganzen Länge mit einem Bauteil verbunden, bei dem Bereiche mit Zugspannungen und Druckspannungen abwechseln, wird auch der am Bauteil befestigte Lichtwellenleiter streckenweise gedehnt und streckenweise gestaucht, wobei sowohl durch die Dehnungen als auch durch die Stauchungen Kräfte auf die Lichtleitfaser ausgeübt werden, welche in dieser Dämpfungen zur Folge haben, die nicht mehr einer bestimmten Beanspruchung zugeordnet werden können.

Die bekannten Überwachungsverfahren und Lichtwellenleiter lassen auch bei solchen Bauteilen keine genaue Überwachung mehr zu, die zeitabhängigen Verformungen, beispielsweise einem Schwinden oder einem Kriechen unter Last, unterworfen sind. Auch bei solchen Bauteilen, die sich unter Last oder einfach durch Verringerung ihres Volumens im Laufe der Zeit verkürzen, wird auf die fest mit ihnen verbundenen Lichtwellenleiter eine Stauchung ausgeübt, die zu Fehlmessungen führt.

Aufgabe der Erfindung ist es deshalb, ein Verfahren zur Lichtwellenleiterüberwachung von Bauteilen anzugeben, die wechselnden oder schwelenden Beanspruchungen oder zeitabhängigen Verformungen unterworfen sind. Ferner ist es Aufgabe der Erfindung, einen für diese Zwecke brauchbaren Lichtwellenleiter zu schaffen.

Diese Aufgaben werden durch die in den jeweiligen Ansprüchen genannten Maßnahmen und Merkmale gelöst.

Durch die Vorspannung der Lichtwellenleiter vor ihrer Verbindung mit dem Bauwerk wird erreicht, daß nicht nur Dehnungen, sondern auch Stauchungen des zu überwachenden Bauteiles meßbar werden, da sie sich nur als eine Verringerung der Vordehnung der Lichtleitfasern darstellen, die definierbare Dämpfungsänderungen der Lichtleitfasern zur Folge hat. Hierbei ist es gleichgültig, wodurch dieser Abbau der Vordehnung hervorgerufen wird. Die Lichtwellenleiter können deshalb nicht nur Bauteile überwachen, bei denen über die Länge des Bauteiles Druckbereiche mit Zugbereichen abwechseln, wie dies beispielsweise bei Durchlaufträgern von Bauwerken der Fall ist, sondern sie können auch zur Überwachung solcher Bauteile eingesetzt werden, die zeitabhängigen Verformungen unterworfen sind, beispielsweise vorgespannten Betonbauteilen, die nicht nur schwinden, sondern unter ihrer Vorspannung

auch kriechen. Außerdem eignen sich vorgespannte Lichtwellenleiter auch zur Überwachung von Maschinenteilen, wie doppeltwirkenden Kolben oder Pleuelstangen, die sowohl auf Zug als auch auf Druck beansprucht werden.

Die Lichtwellenleiter können am Bauteil geradlinig oder gekrümmt entlanggeführt, in situ mechanisch vorgespannt und danach auf ihrer ganzen Länge fest mit dem Bauteil verbunden werden. Hierbei ist es möglich, die Lichtwellenleiter am Bauteil außen anzukleben oder im Werkstoff des Bauteiles unmittelbar einzubetten oder in Hüllrohren zu führen, die außen am Bauwerk angebracht sind oder im Inneren des Bauteiles verlegt sind. Nach dem Verlegen in Hüllrohren können diese Hüllrohre mit einer Masse verpreßt werden, die den Lichtwellenleiter mit dem Hüllrohr auf ganzer Länge fest verbinden, so daß der Verbund mit dem Bauteil hergestellt ist.

Um in einem Bauteil, welches sowohl Zug- als auch Druckbeanspruchungen unterworfen ist, mit in Längsrichtung geradlinig durchlaufenden Lichtwellenleitern nur die Dehnungen zu erfassen, ist es zweckmäßig, die Lichtwellenleiter nur im Bereich der Zugzonen mit dem zu überwachenden Bauteil fest zu verbinden, den Lichtwellenleiter im übrigen aber gegenüber dem Bauteil längsbeweglich zu führen, bevor er an das Meßgerät angeschlossen ist. Für eine solche Anordnung ist die Verlegung der Lichtwellenleiter in Hüllrohren günstig, wo dann die Hüllrohre nur im Zugbereich des Bauteiles nach dem Vorspannen der Lichtwellenleiter verpreßt werden. Die Lichtwellenleiter erfassen dann nur Dehnungen im Zugbereich, während Stauchungen im Druckbereich ohne Einfluß auf die Lichtwellenleiter bleiben, welche Stauchungen die Empfindlichkeit der Messung herabsetzen.

Die Meßgenauigkeit kann nach der Erfindung auch dadurch erhöht werden, daß die Lichtwellenleiter dem Zugspannungsverlauf folgend am oder im Bauteil angeordnet werden. Die Lichtwellenleiter werden dann beispielsweise bei Durchlaufträgern über den Stützungen im oberen Teil und in den Feldern zwischen den Stützungen im unteren Teil des Durchlaufträgers verlegt und ähnlich wie die Spannglieder in einem vorgespannten Durchlaufträger angeordnet. Hierbei ist es auch möglich, die Lichtwellenleiter zusammen mit den Spanndrähten im Hüllrohr eines Spanngliedes zu verlegen. Die Lichtwellenleiter können aber auch separat im Inneren des Bauteiles dem Zugspannungsverlauf folgend in eigenen Hüllrohren untergebracht oder auf der Außenfläche des Bauteiles, beispielsweise an der Seitenwand eines Balkens, eines Maschinenfundamentes oder eines Fahrzeugteiles, angeklebt werden.

Lichtwellenleiter bestehen üblicherweise aus mindestens einer Lichtleitfaser und einer diese umgebenden Umhüllung, die aus Faserverbundwerkstoff oder zweckmäßigerweise aus einem Kunststoff, z.B. Polyamid oder Polyurethan, hergestellt sein kann. Der Einbau und die Handhabung der Lichtwellenleiter wird bedeutend erleichtert, wenn bereits bei der Herstellung der Lichtwellenleiter die Lichtleitfasern gegen ihre Umhüllung vorgespannt und in diesem Zustand am Bauteil angebracht oder in diesem eingebettet werden. Der Lichtwellenleiter hat dann einen inneren Spannungszustand, wobei sich die vorgespannte Lichtleitfaser gegen ihre Umhüllung abstützt. Der Lichtwellenleiter braucht dann nicht mehr vor Ort vorgespannt zu werden, sondern kann in seiner vorgefertigten Form einfach an dem zu überwachenden Bauteil befestigt und auf seiner ganzen Länge

mit diesem verbunden werden. Derartige, in sich vorgespannte Lichtwellenleiter können mit besonderem Vorteil zur Überwachung von vorgespannten Bauteilen eingesetzt werden, die infolge ihrer Vorspannung zunächst auf Druck beansprucht werden und unter dieser Druckvorspannung schwinden und kriechen. Die Herstellung eines Lichtwellenleiters, dessen Lichtleitfasern unter Vorspannung mit ihrem Schutzmantel verbunden sind, kann in einfacher Weise dadurch erfolgen, daß die Haspel, von der die Lichtleitfaser beim Herstellen der Umhüllung abgezogen wird, ständig gebremst wird. Hierdurch kann in der Lichtleitfaser eine Zugspannung erzeugt und aufrechterhalten werden, die so groß ist, daß die Dehnung der Lichtleitfaser auch bei der zu erwartenden Stauchung des Lichtwellenleiters durch das Bauwerk nicht kleiner als Null wird. Bei der Herstellung wird diese vorherbestimmte Zugspannung solange aufrechterhalten, bis die nicht mehr lösbare Verbindung mit den Fasersträngen der Umhüllung hergestellt ist und die Zugspannung der Lichtleitfaser auf deren voller Länge auf die Umhüllung abgesetzt wird.

Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung und den Anwendungsbeispielen, die durch die Zeichnung näher erläutert werden. Es zeigt:

Fig. 1 eine frei aufliegende Stahlbetonplatte im Längsschnitt mit im Tragwerksbeton eingebetteten, vorgespannten Lichtwellenleitern,

Fig. 2 den Gegenstand der Fig. 1 in einem Teilquerschnitt nach Linie II-II,

Fig. 3 einen als Fischbauchträger ausgebildeten Randbalken eines frei aufliegenden Plattenbalkens in einer seitlichen Ansicht mit auf der Unterseite aufgeklebten, vorgespannten Lichtwellenleitern,

Fig. 4 den Gegenstand der Fig. 3 in einem Querschnitt nach Linie IV-IV,

Fig. 5 einen rechteckigen, über zwei Felder sich erstreckenden Durchlaufträger mit im Inneren des Trägers verlegtem Lichtwellenleiter in einer Seitenansicht,

Fig. 6 den Gegenstand der Fig. 5 im Querschnitt nach Linie VI-VI,

Fig. 7 einen über zwei Felder durchlaufenden Plattenbalken aus Spannbeton mit in Hüllrohren verlegten, vorgespannten Lichtwellenleitern im Längsschnitt,

Fig. 8 den Gegenstand der Fig. 7 in einem Querschnitt nach Linie VIII-VIII,

Fig. 9 eine im Maschinen- oder Fahrzeugbau verwendbare Gelenkstange aus Stahl mit einem auf zwei einander gegenüberliegenden Seiten auf den äußeren Umfang aufgeklebten, vorgespannten Lichtwellenleiter in einer seitlichen Ansicht und

Fig. 10 einen vorgespannten Lichtwellenleiter in einer perspektivischen Teildarstellung in stark vergrößertem Maßstab.

In den Fig. 1 und 2 ist eine Spannbetonplatte 10 dargestellt, deren Spanndrähte 11 im Spannbett vorgespannt werden, bevor der Beton 12 in die Schalung eingegeben wird und erhärtet. Zwischen den Spanndrähten 11 sind Lichtwellenleiter 13 angeordnet, die sich parallel zu den Spanndrähten 11 erstrecken und ebenso wie diese vor dem Einbringen des Betons 12 im Spannbett mechanisch soweit vorgespannt werden, daß ihre Beanspruchung bei allen Beanspruchungen, denen die Spannbetonplatte nach ihrem Einbau unterworfen ist, im Zugbereich bleibt.

Nach dem Einbringen und Erhärten des Betons 12 werden die Spanndrähte 11 und die Lichtwellenleiter 13 aus ihren Verankerungen am Spannbett gelöst, bevor

die Spannbetonplatte 10 aus ihrer Schalung herausgenommen wird. Die Spanndrähte 11 übertragen dann die ihnen innewohnende Spannkraft durch Haftreibungsverbund auf den Beton 12, so daß dieser in Längsrichtung der Spanndrähte 11 unter Druckvorspannung gesetzt wird. Ebenso wie die Spanndrähte 11 stützen sich auch die Lichtwellenleiter, die nach dem Erhärten des Betons mit diesem auf ganzer Länge durch Haftreibung verbunden sind, gegen den Beton ab.

Die Lichtwellenleiter 13 sind zwischen den Spanndrähten 11 im Grundriß der Spannbetonplatte 10 geführt, und ihre beiden Enden 14 sind an ein Lichtmeß- und Überwachungsgerät 15 angeschlossen, welches Lichtimpulse durch die Lichtwellenleiter 13 sendet und diese wieder empfängt.

Unter ihrem Eigengewicht und unter Gebrauchslast wird die Spannbetonplatte 10 auf Biegung beansprucht, wodurch an ihrer Unterseite Zugspannungen und an ihrer Oberseite Druckspannungen auftreten. Diesem äußeren Spannungszustand sind innere Druckspannungen überlagert, die von den vorgespannten Stahladrähten im Betonquerschnitt erzeugt werden und die in der Spannbetonplatte schon wirksam sind, bevor diese eingebaut wird und unter Gebrauchslast kommt. Unter dem Einfluß der Vorspannung beginnt der Beton zu kriechen, d.h. der Beton wird unter der Druckvorspannung gestaucht und die Spannbetonplatte in Längsrichtung kürzer. Hierbei verkürzen sich auch die im Beton eingebetteten Lichtwellenleiter, die ja mit dem Beton auf ganzer Länge fest verbunden sind, um das gleiche Maß. Da die Lichtwellenleiter jedoch vor ihrer Umhüllung mit Beton vorgespannt wurden und eine Vordehnung erhalten haben, hat ihre Verkürzung infolge des Kriechens des sie umgebenden Betons nur eine Verringerung der Dehnung der Lichtwellenleiter zur Folge, ohne daß hierbei der Dehnungsnullpunkt unterschritten wird. Die Lichtwellenleiter werden also durch die Kriechverformung der Spannbetonplatte nicht gestaucht, sondern sie bleiben im Zugbereich. Nach dem Einbau der vorgespannten Spannbetonplatte 10 in ein Bauwerk und nach dem Aufbringen der Gebrauchslast können sie dann die Verformungen des Bauwerkes überwachen, die dieses unter der Gebrauchslast erleidet, welche die Spannbetonplatte 10 auf Biegung beansprucht und auf ihrer Unterseite Zugspannungen erzeugt, die sich als Dehnungen des Lichtwellenleiters darstellen und eine Änderung der Dämpfung des Lichtes in den Lichtwellenleitern zur Folge haben, die von dem optischen Lichtmeß- und Überwachungsgerät 15 erfaßt und ausgewertet werden kann.

In den Fig. 3 und 4 ist das zu überwachende Bauteil ein Plattenbalken 16 aus Stahlbeton oder Spannbeton, der als Fischbauchträger ausgebildet ist und an dessen Unterseite 17 ein Lichtwellenleiter 18 angebracht ist, dessen beide Enden 19 und 20 an Lichtmeß- und Überwachungsgeräte 15 angeschlossen sind. Bei dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel wurde der Lichtwellenleiter 18 nach dem Anlegen am Plattenbalken 16 mechanisch vorgespannt und danach auf seiner ganzen Länge mit dem Plattenbalken 16 verklebt.

In den Fig. 5 und 6 ist ein im Querschnitt rechteckiger Stahlbetonbalken 21 dargestellt, der sich als Durchlaufträger über zwei Felder  $F_1$  und  $F_2$  erstreckt und auf drei Stützungen  $S_1$ ,  $S_2$  und  $S_3$  ruht. An der Oberseite 22 und an der Unterseite 23 des Stahlbetonbalkens 21 sind Lichtwellenleiter 24 und 25 verlegt, die an ihren linken Enden 24a bzw. 25a miteinander verbunden und mit ihren rechten Enden 24b bzw. 25b an ein Lichtmeß- und

Überwachungsgerät 15 angeschlossen sind. Die Lichtwellenleiter 24 und 25 befinden sich in Hüllrohren 26 bzw. 27, von denen das eine Hüllrohr 26 in der Nähe der Oberseite 22 und von denen das andere Hüllrohr 27 in der Nähe der Unterseite 23 des Stahlbetonbalkens 21 geradlinig und parallel zur Längsachse des Stahlbetonbalkens geführt und im Bauwerkbeton eingebettet ist. Die Hüllrohre, die Schläuche aus Metall oder Kunststoff oder auch dünnwandige Blechrohre sein können, werden vor dem Betonieren des Stahlbetonbalkens 21 in der Schalung des Bauteiles verlegt und einbetoniert. Die Lichtwellenleiter können vor oder nach dem Betonieren in die Hüllrohre eingezogen werden. Nach dem Erhärten des Betons werden sie mechanisch vorgespannt und jeweils im Zugspannungsbereich  $Z_1$ ,  $Z_2$  und  $Z_3$  durch Einpressen einer am Lichtwellenleiter und am Hüllrohr festhaftenden, erhärtenden Masse mit dem Hüllrohr verbunden. Die unter Längsvorspannung mit den Hüllrohren fest verbundenen Teile der Lichtwellenleiter 24 und 25 sind in der Zeichnung in strichpunktierten Linien dargestellt und man erkennt, daß sie sich in der Nähe der Unterseite 23 des Stahlbetonbalkens 21 im Bereich der Felder  $F_1$  und  $F_2$  und in der Nähe der Oberseite 22 des Stahlbetonbalkens 21 über der mittleren Stützung  $S_2$  befinden. Außerhalb der Zugspannungsbereiche  $Z_1$ ,  $Z_2$  und  $Z_3$  sind die Lichtwellenleiter 24 und 25 in ihren Hüllrohren 26 und 27 längsbeweglich geblieben, was in Fig. 5 durch punktierte Linien dargestellt ist. Die längsbeweglichen Lichtwellenleiter verlaufen im Bauwerk in solchen Zonen, in denen keine Zugspannungen auftreten. Es ist aber darauf hinzuweisen, daß die Lichtwellenleiter 24 und 25 auch auf ihrer gesamten Länge nach dem Vorspannen mit den Hüllrohren fest verbunden werden können, wenn ihre Vorspannung und damit ihre Vordehnung so groß ist, daß ihre Zugbeanspruchung auch in den Druckzonen des Bauteiles erhalten bleibt.

In den Fig. 7 und 8 ist ein Durchlaufträger mit Plattenbalkenquerschnitt dargestellt, bei dem die Lichtwellenleiter dem Zugspannungsverlauf folgend im Bauteil angeordnet sind.

Ebenso wie bei dem in den Fig. 5 und 6 dargestellten Ausführungsbeispiel befinden sich die Lichtwellenleiter 30 in Hüllrohren 31, die in Längsrichtung des Trägers 32 wellenförmig so geführt sind, daß sie sich immer in den Zugzonen des jeweiligen Trägerquerschnittes befinden. Die Hüllrohre 31 mit den Lichtwellenleitern 30 verlaufen also in den Feldern  $F_1$  und  $F_2$  in der Nähe der Unterseite 33 und über der Stützung  $S_2$  in der Nähe der Oberseite 34 des Plattenbalkens, während ihre aus dem Träger 32 herausgeführten Enden 30a und 30b an Lichtmeß- und Überwachungsgeräte 15 angeschlossen sind. Wie bei dem zuvor beschriebenen Ausführungsbeispiel werden auch hier die Hüllrohre 31 in der aus Fig. 7 ersichtlichen Lage in der Schalung des Betonbauteiles verlegt und einbetoniert. Die eingezogenen Lichtwellenleiter werden dann unter Vorspannung gesetzt und auf ihrer gesamten Länge mit dem Hüllrohr durch Einpressen einer Masse in das Hüllrohr verbunden, welche fest am Lichtwellenleiter und am Hüllrohr haftet und so den Verbund zwischen Lichtwellenleiter und Bauteil herstellt.

Es ist darauf hinzuweisen, daß auch die in den Fig. 3 bis 7 dargestellten Bauteile (Plattenbalken 16, Stahlbetonbalken 21 und Träger 32) unter Längsvorspannung gesetzt werden können, wenn sie aus Beton bestehen und eine günstige Beanspruchung erreicht werden soll. Sie werden dann eine Kriechverformung erleiden, die sich auch auf die einbetonierten oder angeklebten Licht-

wellenleiter auswirkt. Es ist deshalb eine Vorspannung der Lichtwellenleiter erforderlich, wenn eine einwandfreie Überwachung im Gebrauchszustand gewährleistet sein soll.

In Fig. 9 ist eine Gelenkstange 35 aus Stahl dargestellt, wie sie im Maschinenbau und im Fahrzeugbau oft Verwendung findet, und die an ihren beiden Enden mit Gelenkösen 36 versehen ist. Die Gelenkstange 35 kann in Längsrichtung auf Zug oder Druck beansprucht werden. Um ihre Beanspruchung zu überwachen, sind auf diametral gegenüberliegenden Seiten der Gelenkstange in deren Längsrichtung Lichtwellenleiter 37 aufgeklebt, die an ihrem einen Ende 37a miteinander verbunden sind und deren andere Enden 37b an ein Lichtmeß- und -überwachungsgerät 15 angeschlossen sind. Die hierbei verwendeten Lichtwellenleiter 37 sind nicht gegen die Gelenkstange 35, sondern in sich selbst vorgespannt, d.h. sie haben einen Eigenspannungszustand. Ein derartiger Lichtwellenleiter 37 ist in Fig. 10 schematisch dargestellt.

Dieser Lichtwellenleiter 37 besteht aus einer Lichtleitfaser 40 aus Quarzglas oder einem anderen, lichtleitenden Material, die in einer Umhüllung 41 aus Faser-verbundwerkstoff eingebettet ist. Um einen guten Haftverbund zwischen Lichtleitfaser und Faserverbundwerkstoff zu erzielen, kann auf den äußeren Umfang der Lichtleitfaser 40 auch noch eine Zwischenschicht 42 mit rauher Oberfläche oder eine Drahtwendel aufgebracht sein, die zusätzlich die Ansprechempfindlichkeit des Lichtwellenleiters bei dessen Längsdehnung erhöht, wie dies an sich bekannt ist. Gegenüber den bekannten Ausführungen hat der beschriebene Lichtwellenleiter jedoch die Besonderheit, daß die Lichtleitfaser 40 gegen die sie umgebende Umhüllung 41 vorgespannt und unter axialer Zugspannung auf ihrer ganzen Länge mit der Umhüllung 41 verbunden ist. Es herrscht also im Lichtwellenleiter ein innerer Spannungszustand.

Lichtwellenleiter der in Fig. 10 gezeigten und bei der Gelenkstange nach Fig. 9 verwendeten Art können in einfacher Weise so hergestellt werden, daß beim Zusammenführen der Lichtleitfaser mit ihrer Umhüllung in der von einer Haspel abgezogenen Lichtleitfaser durch Bremsen der Haspel eine Zugspannung erzeugt und so lange aufrechterhalten wird, bis die Umhüllung erhärtet ist und eine nicht mehr lösbare Verbindung zwischen der Lichtleitfaser und der sie umgebenden Umhüllung hergestellt ist. Die Bremswirkung der Haspel ist zweckmäßigerweise veränderbar, so daß die Vorspannung der Lichtleitfaser gegenüber ihrer Umhüllung verändert und den jeweiligen Anforderungen angepaßt werden kann.

Der auf diese Weise hergestellte, in sich vorgespannte Lichtwellenleiter kann in beliebigen Längen von einem Vorrat abgeschnitten und ohne weitere Vorbereitung schlaff an dem jeweils zu überwachenden Bauteil in beliebiger, insbesondere auch gekrümmter Linienführung befestigt, beispielsweise angeklebt oder in dessen Masse eingebracht werden. Er kann statt einer Lichtleitfaser auch mehrere Lichtleitfasern aufweisen, die in der gleichen Umhüllung untergebracht sind und die auch unterschiedlich vorgespannt werden können, um den gleichen Lichtwellenleiter für verschiedene Lastbereiche einsetzen zu können, wobei dann entweder die eine oder die andere oder auch mehrere Lichtleitfasern an das optische Lichtmeß- und Überwachungsgerät angeschlossen werden.

Es ist auch möglich, die Lichtwellenleiter von mehreren Bauteilen miteinander zu verbinden und gemeinsam

an ein optisches Lichtmeß- und Überwachungsgerät anzuschließen. Ferner können sowohl gegen das Bauteil als auch in sich selbst vorgespannte Lichtwellenleiter zur Überwachung der verschiedensten Bauteile von Fahrzeugen, Maschinen, Bauwerken etc. verwendet werden, die schwellenden oder wechselnden Verformungen und Beanspruchungen unterworfen sind.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Überwachen der Verformungen von Bauteilen mittels Lichtwellenleitern, die mindestens auf einer Teillänge des Bauteils mit diesem fest verbunden werden, wobei die Lichtwellenleiter vor ihrer festen Verbindung mit dem Bauteil mechanisch vorgespannt und an ein Meßgerät angeschlossen werden, mit dem die Durchgängigkeit der Lichtwellenleiter und die Laufzeit und/oder die Dämpfung der durch die Lichtwellenleiter hindurchgeschickten Lichtimpulse ständig oder intermittierend überprüft werden, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtwellenleiter (13; 18; 24, 25; 30; 37) so stark mechanisch vorgespannt werden, daß ihre Beanspruchung bei allen im Bauteil (Spannbetonplatte 10; Plattenbalken 16; Stahlbetonbalken 21; Träger 32; Gelenkstange 35) zu erwartenden Verformungen im Zugbereich bleibt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtwellenleiter (24, 25; 30) in Hüllrohren (26, 27; 31) verlegt werden, die innerhalb oder außerhalb des Bauteiles (Stahlbetonbalken 21; Träger 32; Plattenbalken 16) angeordnet und mit diesem fest verbunden sind, und daß der jeweilige oöogkie Lichtwellenleiter (24, 25; 30) in dem jeweiligen Hüllrohr (26, 27; 31) mechanisch vorgespannt und durch Verpressen des Hüllrohres (26, 27; 31) mit einer an diesem und am Lichtwellenleiter (24, 25; 30) haftenden Masse auf mindestens einem Teil seiner Länge mit dem Hüllrohr (26, 27; 31) fest verbunden wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtwellenleiter (30) dem Zugspannungsverlauf folgend am oder im Bauteil (Träger 3.) angeordnet werden.

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtwellenleiter (13; 25; 37) parallel zu derjenigen Hauptachse des Bauteiles (Spannbetonplatte 10; Stahlbetonbalken 21; Gelenkstange 35) an dessen Außenflächen oder in dessen Innerem angeordnet werden, in deren Richtung die Beanspruchung wirkt.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtwellenleiter (24, 25) nur im Zugspannungsbereich ( $Z_1$ ,  $Z_2$ ,  $T_3$ ) des Bauteiles (Stahlbetonbalken 21) mit den sie umgebenden Hüllrohren (26, 27) fest verbunden und in den anderen Bereichen längsbeweglich in den Hüllrohren (26, 27) geführt werden.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtwellenleiter (13; 18) am Ort ihrer Verlegung vorgespannt und auf ihrer ganzen Länge mit dem Bauteil durch Verklebung oder Einbetten in seine Masse verbunden werden.

7. Lichtwellenleiter zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 oder 3 bis 6, mit mindestens einer Lichtleitfaser in einer diese umgebenden Umhüllung, dadurch gekennzeichnet, daß

die Lichtleitfaser (40) gegen die sie umgebende Umhüllung (41) vorgespannt und unter axialer Zugspannung auf ihrer ganzen Länge mit der Umhüllung (41) verbunden ist.

8. Verfahren zum Herstellen eines Lichtwellenleiters nach Anspruch 7, bei dem die Lichtleitfaser von einer Haspel abgewickelt und in eine Umhüllung eingebettet wird, mit der sie auf ihrer ganzen Länge verbunden ist, dadurch gekennzeichnet, daß durch definiertes Bremsen der Haspel in der von ihr abgezogenen Lichtleitfaser eine Zugspannung von vorherbestimmter Größe erzeugt und so lange aufrechterhalten wird, bis die Umhüllung erhärtet und unlösbar mit der Lichtleitfaser verbunden ist.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -





FIG. 1

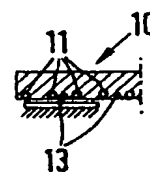


FIG. 2

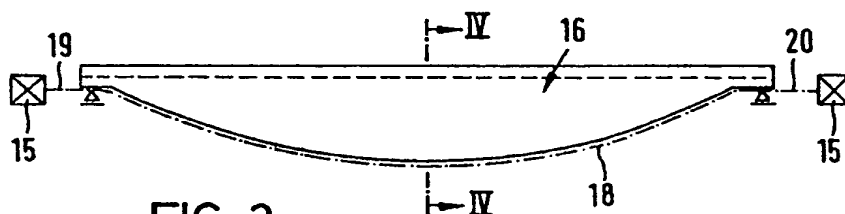


FIG. 3

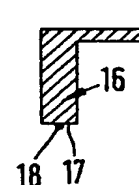


FIG. 4

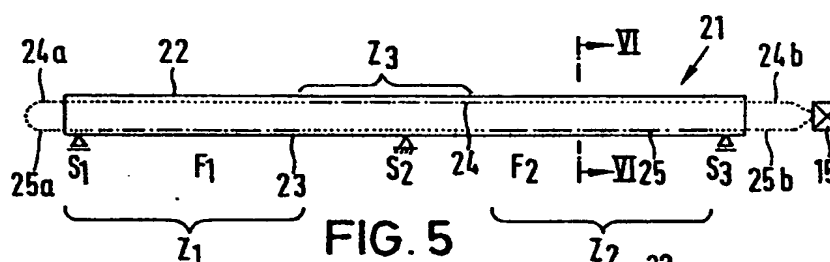


FIG. 5

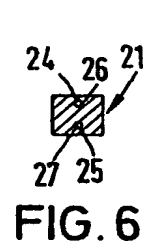


FIG. 6

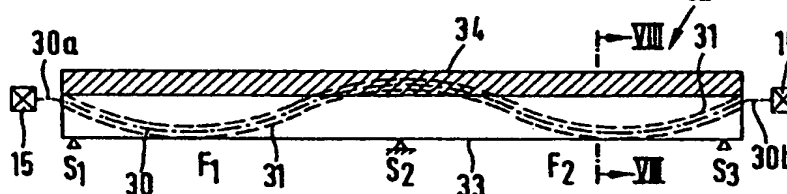


FIG. 7

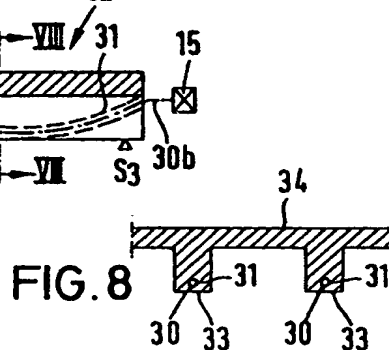


FIG. 8

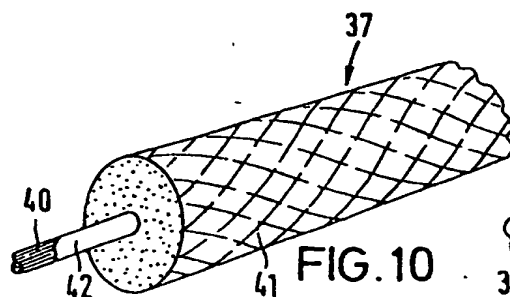


FIG. 10

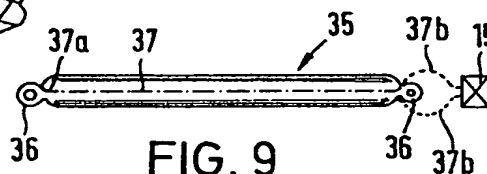


FIG. 9

**United States Patent** [19]

Wolff et al.

[11] **Patent Number:** 5,044,205[45] **Date of Patent:** Sep. 3, 1991[54] **METHOD FOR MONITORING  
DEFORMATIONS WITH LIGHT  
WAVEGUIDES**[75] **Inventors:** Reinhard Wolff; Hans-Joachim  
Miesslerer; Martin Weiser, all of  
Cologne, Fed. Rep. of Germany[73] **Assignee:** Strabag Bau-AG, Cologne, Fed. Rep.  
of Germany[21] **Appl. No.:** 571,838[22] **Filed:** Aug. 24, 1990**Related U.S. Application Data**

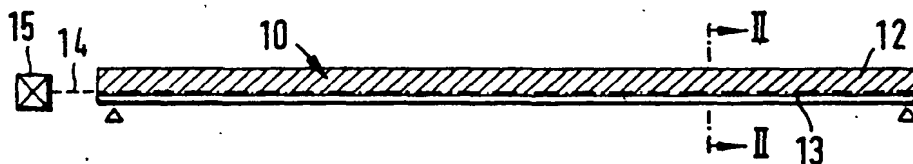
[63] Continuation of Ser. No. 101,844, Sep. 28, 1987, abandoned.

[30] **Foreign Application Priority Data**

Oct. 15, 1986 [DE] Fed. Rep. of Germany ..... 3635053

[51] **Int. Cl.<sup>5</sup>** ..... G01L 1/24[52] **U.S. Cl.** ..... 73/800; 250/227.14[58] **Field of Search** ..... 73/800; 350/96.29;  
250/227.14, 227.16, 227.18, 227.19[56] **References Cited****U.S. PATENT DOCUMENTS**4,654,520 3/1987 Griffiths ..... 73/800 X  
4,671,659 6/1987 Rempt et al. .... 73/800 X**FOREIGN PATENT DOCUMENTS**0025815 8/1984 European Pat. Off. .  
2937824 5/1982 Fed. Rep. of Germany .*Primary Examiner*—Jerry W. Myracle*Attorney, Agent, or Firm*—Body, Vickers & Daniels[57] **ABSTRACT**

A method for the monitoring of deformation of components with light waveguides which are connected securely to the component at least over part of the length of the latter and are connected to a measuring apparatus with which the transmitting capacity of the light waveguide and the transit time and/or the damping of the light pulses sent through the light waveguides are continuously or intermittently monitored. The light waveguides are prestressed such that they remain in tension at all levels of deformation expected.

**9 Claims, 1 Drawing Sheet**

U.S. Patent

Sep. 3, 1991

5,044,205

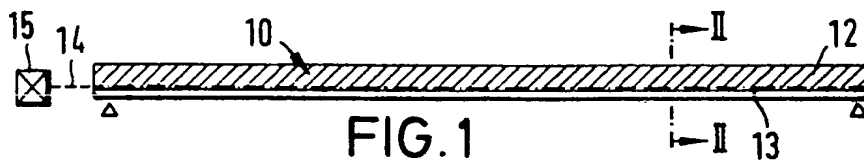


FIG. 1

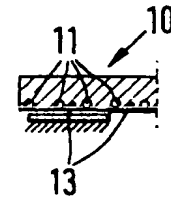


FIG. 2

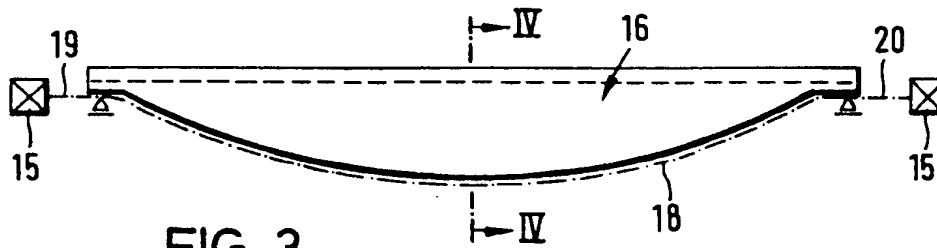


FIG. 3

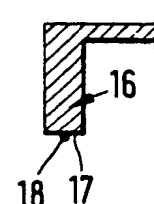


FIG. 4

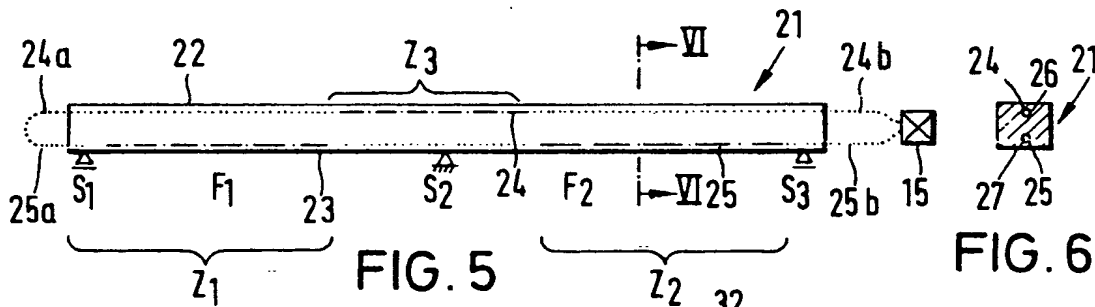


FIG. 5

FIG. 6

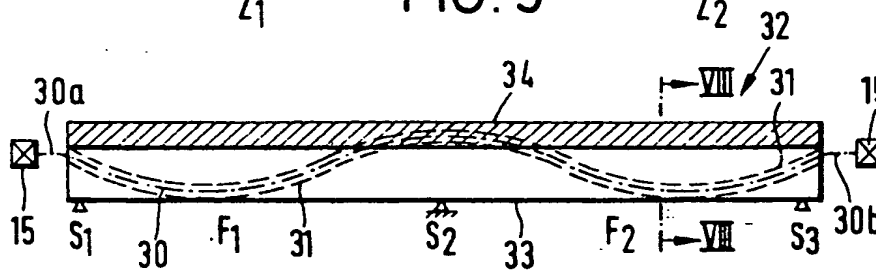


FIG. 7

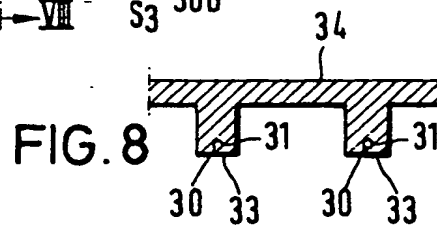


FIG. 8

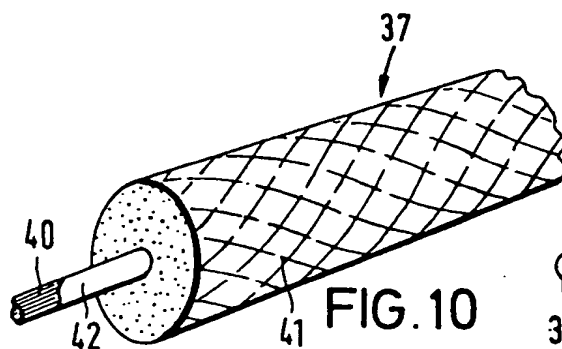


FIG. 9

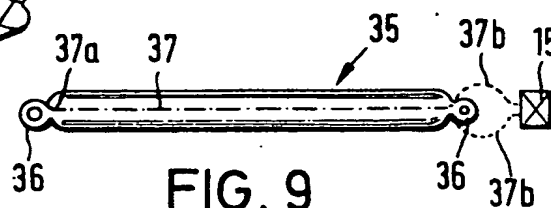


FIG. 10

5,044,205

1

## METHOD FOR MONITORING DEFORMATIONS WITH LIGHT WAVEGUIDES

This is a continuation of Ser. No. 101,844 filed 5  
09/28/87, now abandoned.

The invention relates to a method for the monitoring  
of deformations of components with light waveguides  
which are connected securely to the component at least  
over part of the length of the latter and are connected to  
a measuring apparatus with which the transmitting capacity  
of the light waveguide and the transit time and-  
/or the damping of the light pulses sent through the  
light waveguides are continuously or intermittently  
monitored.

It is known to use light waveguides for monitoring  
components of machines and vehicles, especially air-  
craft, but components of building structures also, so as  
to detect at an early stage deformations which give  
advance warning of fracture or other failure of the  
component in the machine or in the building structure.  
The light waveguides used in such cases consist of one  
or more very thin light-conducting fibres of quartz glass  
with a high refraction index which are embedded in a  
protective covering of fibre compound material e.g.  
glassfibre-reinforced synthetic plastic material. Extension  
of the light waveguides in the longitudinal direction  
leads to transverse contraction of the light-con-  
ducting fibre, which has a damping effect on the light  
pulses which are sent through the light-conducting  
fibre. This damping effect is a measure of the extension  
of the light-conducting fibre. When the elastic limit of  
the light-conducting fibre is exceeded, fracture of the  
light-conducting fibre occurs, and the fibre no longer  
transmits the light pulse at the fracture zone but instead  
reflects it. From the discontinued transmitting capacity  
of the light-conducting fibre and the transit times measured  
by the measuring apparatus it is possible to determine  
the distance between the fracture point and the  
measuring apparatus or the distance from the fracture  
point to the end of the light waveguide.

When monitoring components which are subjected to  
tensile stress it is known to secure the light waveguide  
adhesively to the outside of the component being moni-  
tored or to embed the light waveguide in the compo-  
nent (DE-OS 29 37 824). Then the beginning and end of  
the light waveguide are connected to a light transmis-  
sion monitoring apparatus with which the ability of a  
light beam to travel through the waveguide, and the  
damping of the light beam in the waveguide, are moni-  
tored.

With these known methods and the known light  
waveguides it is only possible to reliably monitor com-  
ponents wherein only tensile stresses occur. On the  
other hand it is not possible to monitor components  
wherein there are different stress states distributed over  
the cross-section. Such components include for example  
parts of a building structure which are subjected to  
tensile and compressive and/or flexural stress, and  
wherein different stress states occur in the cross-section  
over the length of the component. For the known light  
waveguides have the property that the light-conducting  
capacity of the light-conducting fibres also varies when  
subjected to longitudinal pressure forces, in other  
words when the light-conducting fibres are subjected to  
upsetting. If, then, a light waveguide is connected over  
its entire length to a component wherein regions with  
tensile stress and compressive stress alternate, the light

2

waveguide secured to the component will also be lo-  
cally stretched and locally upset, and both extension  
and upsetting will subject the light-conducting fibre to  
forces which produce damping effects in the fibre  
which can no longer be associated with one specific  
stress.

The use of the known monitoring methods and light  
waveguides can also not be extended to provide precise  
monitoring of components which are subjected to time-  
dependent deformation for example shrinking, or creep  
under load. Also in the case of components which  
shorten under load or simply through reduction of their  
volume in the course of time the light waveguide con-  
nected securely to these will be upset such as to result in  
wrong measurements.

The invention has as its object, therefore, to provide  
a method for using light waveguides for the monitoring  
of components which are subjected to alternating or  
pulsating stresses, or time-dependent deformation phe-  
nomena. A further object of the invention is to provide  
a light waveguide which can be used for such a purpose.  
These objects are achieved by the measures and features  
specified in the claims.

Prestressing the light waveguides before they are  
connected to the building structure achieves the result  
that it is possible to measure not only extensions but also  
upsettings of the component being monitored since they  
are presented simply as a reduction in the pre-extension  
of the light-conducting fibres which results in definable  
damping variations in the light-conducting fibres. In  
this connection it is immaterial what caused this reduction  
in the pre-extension. Therefore, the light wave-  
guides can monitor not only components wherein com-  
pression zones and tension zones alternate over the  
length of the component, such as occurs for example in  
continuous girders of building structures, but they can  
also be used for the monitoring of components which  
are subjected to time-dependent deformations, for ex-  
ample prestressed concrete building components which  
not only shrink but also creep under the effect of their  
prestressing. Prestressed light waveguides are also suit-  
able for the monitoring of machine parts such as double-  
acting pistons or connecting rods which are subjected  
to both tensile and compressive stress.

The light waveguides can be taken along the compo-  
nent along a rectilinear course or a curved course, me-  
chanically prestressed in situ and thereafter connected  
securely over their entire length to the component. It is  
possible to attach the light waveguides adhesively ex-  
ternally to the component, or to embed them directly in  
the material of the component, or to guide them in  
casing tubes arranged externally on the building struc-  
ture or laid in the interior of the component. After the  
waveguides are laid in casing tubes these casing tubes  
can be grouted with a composition securely connecting  
the light waveguide to the casing tube over the full  
length, so as to establish the desired bond with the com-  
ponent.

In order to detect only the extensions which occur in  
a component subjected both to tensile and also to com-  
pressive stresses, using light waveguides extending  
through in rectilinear manner in the longitudinal direc-  
tion, it is advantageous for the light waveguides to be  
connected securely only in the region of the tension  
zones to the component which is being monitored, but  
to guide the light waveguide otherwise so as to be longi-  
tudinally movable relatively to the component before it  
is connected to the measuring apparatus. For such an

5,044,205

3

arrangement it is advantageous to lay the light waveguides in casing tubes where these tubes are then grouted only in the tension region of the component after the prestressing of the light waveguides. The light waveguides then detect only extension phenomena in the tension region, whereas upsetting phenomena in the compression region have no influence on the light waveguides, upsetting being able to reduce the sensitivity of the measurement work.

Measuring accuracy can also be improved according to the invention by arranging the light waveguides on or in the component to follow the tensile stress pattern. In such an event the light waveguides, for example in a continuous girder, are disposed above the supports in the upper part and in the bays between the supports in the lower part of the continuous girder, and are arranged similarly to the prestressing elements in a prestressed continuous girder. It is also possible to lay the light waveguides together with the prestressing wires in the casing tube of a prestressing element. Alternatively the light waveguides may be arranged separately in the interior of the component, following the tensile stress pattern, in their own casing tubes, or secured adhesively on the outer surface of the component, for example on the side wall of a beam, a machine bed or a vehicle part.

Light waveguides usually consist of at least one light-conducting fibre and an envelope surrounding same, and this envelope can be made from fibre compound material or advantageously from a synthetic plastic material e.g. polyamide or polyurethane. Fitting and handling the light waveguides are considerable facilitated if the light-conducting fibres are prestressed relatively to their envelope as early as at the manufacture of the light waveguides, and then, in this state, arranged on the component or embedded in it. The light waveguide then has an internal stress state, the preload light-conducting fibre bearing against its envelope. Then it is no longer necessary to prestress the light waveguide in situ, and instead it can be simply secured in its prefabricated form on the component which is to be monitored and connected to the said component over its entire length. Such light waveguides prestressed in themselves can be used with particular advantage for the monitoring of prestressed components which are subjected in the first instance to compression owing to their prestressing, and shrink and creep under this compressive prestressing.

Manufacture of a light waveguide whose light-conducting fibres are connected with preload to their protective casing can be carried out in a simple manner with the application of a braking action continuously on the reel from which the light-conducting fibre is drawn off when the envelope is produced. As a result a tensile stress is produced in the light-conducting fibre, and maintained, which is considerable enough to ensure that even at the upsetting of the light waveguide which can be expected as a result of the building structure the extension of the light-conducting fibre does not become less than nil. In manufacture, this predetermined tensile stress is maintained until a henceforth unreleasable bond with the fibre strands of the envelope is established, and the tensile stress of the light-conducting fibre is transferred over its entire length to the envelope.

Further features and advantages of the invention are shown in the following description and the examples of application, which are explained in more detail through the drawings. In the drawings:

4

FIG. 1 is a view in longitudinal section showing a reinforced concrete slab resting freely on support, with prestressed light waveguides embedded in the structure concrete,

FIG. 2 shows the subject of FIG. 1 in a partial cross-section taken on the line II—II,

FIG. 3 shows an edge beam, constructed as a fishbelly girder, of a freely supported slab-and-beam component, with prestressed light waveguides secured adhesively on the underside, in a side view,

FIG. 4 shows the subject of FIG. 3 in a cross-section taken on the line IV—IV,

FIG. 5 shows a rectangular continuous girder extending over two bays, with a light waveguide situated within the girder, in a side view,

FIG. 6 shows the subject of FIG. 5 in a cross-section taken on the line VI—VI,

FIG. 7 is a view in longitudinal section of a slab-and-beam component which is made of prestressed concrete and which extends over two bays, with prestressed light waveguides laid in casing tubes,

FIG. 8 is a view of the subject of FIG. 7 in a cross-section taken on the line VIII—VIII,

FIG. 9 is a side view showing an articulated joint rod made of steel and usable in machinery or in vehicle construction, with a prestressed light waveguide adhesively secured at two sides opposite from one another on the external periphery and

FIG. 10 is a perspective fragmentary view on a greatly enlarged scale of a prestressed light waveguide according to the invention.

In FIGS. 1 and 2 there is shown a prestressed concrete slab 10 whose prestressing wires 11 are prestressed in the prestressing bed before the concrete 12 is introduced into the formwork and hardened. Between the prestressing wires 11 light waveguides 13 are arranged which extend parallel to the steel prestressing wires 11 and, like the latter, are mechanically prestressed to such an extent before the introduction of the concrete 12 in the prestressing bed that their stressing remains in the tension range under all stresses to which the prestressed concrete slab may be subjected in use.

After the introduction and setting of the concrete 12 the steel prestressing wires 11 and the light waveguides 13 are released from their anchoring points at the prestressing bed before the prestressed concrete slab 10 is removed from its formwork. The preload force within the steel prestressing wires 11 is then transferred by them, by the bond produced by static friction, to the concrete 12 so that the latter is subjected to compressive prestress in the longitudinal direction of the prestressing wires 11. Like the prestressing wires 11 the light waveguides bear on the concrete, they being connected to the concrete over all of the length by static friction after the concrete has set.

The light waveguides 13 are made to lie between the steel wires 11 in the plan of the slab 10, and their two ends 14 are connected to a measuring apparatus 15 which sends light pulses through the light waveguides 13 and receives the pulses again.

Under its own weight and under service load the prestressed concrete slab 10 is subjected to bending stress, which results in tensile stresses occurring at its underside and compressive stresses at its top side. Superimposed on this external stress state are internal compressive stresses which by the prestressed steel wires in the concrete cross-section and which are effective in the reinforced concrete slab even before the latter is fitted

5,044,205

5

and comes under service load. Under the influence of the prestress the concrete begins to creep, i.e. the concrete is upset by the action of the compressive pre-load, and the prestressed concrete slab becomes shorter in the longitudinal direction. As this happens, the light waveguides embedded in the concrete also shorten, to the same extent, they being connected fast to the concrete over their entire length. But since before they are covered with concrete the light waveguides were prestressed and were given a pre-extension, their shortening as a result of the creep in the concrete surrounding them only results in reducing the extension of the light waveguides, without going below the extension zero point. In other words, the light waveguides are not upset by the creep deformation of the prestressed concrete slab, but remain within the tension range. After the prestressed component 10 has been installed in a building structure, and the service load has been applied, they can then monitor the deformation phenomena in the component which result from the service load and which subject the prestressed concrete slab 10 to bending stress and produce at its underside tensile stresses which are presented as extension of the light waveguide, causing a modification of the damping of the light in the light waveguides, which modification can be detected by the optical measuring apparatus 15 and evaluated.

In FIGS. 3 and 4 the component to be monitored is a slab-and-beam component 16 of ferroconcrete or prestressed concrete which is constructed as a fishbelly girder and on whose underside 17 a light waveguide 18 is arranged whose two ends 19 and 20 are connected to light measuring apparatus 15. In the constructional example illustrated here the light waveguide 18 has been mechanically prestressed after application on the component 16, and then secured adhesively over its entire length to the component 16.

FIGS. 5 and 6 show a reinforced concrete beam 21 which is rectangular in cross-section and which extends as a continuous girder over two bays  $F_1$  and  $F_2$  and rests on three supports  $S_1$ ,  $S_2$ , and  $S_3$ . On the topside 22 and on the underside 23 of the beam 21 light waveguides 24 and 25 are arranged which are connected to one another at their left ends 24a and 25a respectively and are connected with their right-hand ends 24b and 25b respectively to a light measuring and monitoring apparatus 15. The light waveguides 24 and 25 are situated in casing tubes 26 and 27 respectively, of which the one casing tube 26 is arranged at the upper edge 22 and the other casing tube 27 at the lower edge 23 of the beam, rectilinearly and parallel to the longitudinal axis of the beam, and embedded in the structure concrete. The casing tubes, which may be flexible tubes of metal or synthetic plastic material or thin-walled sheet metal tubes, are laid in the component formwork before the beam 21 is concreted, and are concreted-in. The light waveguides may be introduced into the casing tubes before or after the concreting. After the concrete has set they are mechanically prestressed, and connected to the casing tube in the respective tensile stress regions  $Z_1$ ,  $Z_2$ ,  $Z_3$  by forcing-in a hardening composition which adheres securely to the light waveguide and to the casing tube. Those portions of the light waveguides 24 and 25 which are connected fast to the casing tubes, under longitudinal prestress, are represented in the drawings in dot-dash lines, and it will be seen that they are situated at the lower edge of the beam 21 in the region of the bays  $F_1$  and  $F_2$  and at the upper edge 22 of the beam

6

21 over the central support  $S_2$ . Outside of the tension regions  $Z_1$ ,  $Z_2$  and  $Z_3$  the light waveguides 24 and 25 remain capable of moving longitudinally in their casing tubes 26 and 27, this being represented in FIG. 5 by dotted lines. The longitudinally movable light waveguides are disposed in the structure in zones where no tensile stresses occur. But it should be pointed out that the light waveguides 24 and 25 can also be connected fast to the casing tubes over their entire length after the prestressing if according to the invention their prestressing and thus their pre-extension is so great that their tensile stress is continued even in the compression zones of the component.

In FIGS. 7 and 8 the invention is illustrated with the example of a continuous girder with a slab-and-beam cross-section, wherein the light waveguides are arranged in the component so as to follow the tensile stress pattern.

Just as in the constructional example illustrated in FIGS. 5 and 6, the light waveguides 30 are situated in casing tubes 31 which are taken along an undulatory course in the longitudinal direction of the girder 32 such that they are always situated in the tension zones of the particular girder cross-section concerned. The casing tubes 31 with the light waveguides 30 thus run in the bays  $F_1$  and  $F_2$  in the vicinity of the lower edge 33 and above the support  $S_2$  in the vicinity of the upper edge 34 of the slab-and-beam component, whereas their ends 30a and 30b which are taken out of the component 32 are connected to light measuring and monitoring apparatus 15. Here also, as in the previously described constructional example, the casing tubes 31 are laid in the position shown in FIG. 7 in the formwork of the concrete component, and concreted-in. Then the inserted light waveguides are subjected to prestress and connected over their entire length to the casing tube by forcing-in a grout into the casing tube which adheres fast to the casing tube and to the light waveguide and thus establishes the bond between the light waveguide and the component.

It should be pointed out that the components 16, 21 and 32 shown in FIGS. 3 to 7 can also be subjected to longitudinal prestress if they are made of concrete and an advantageous stress is to be achieved. Especially in this case they will undergo creep deformation, which also acts on the concreted-in or stuck-on light waveguides and makes prestressing of these necessary if satisfactory monitoring in the service state is to be ensured.

FIG. 9 shows an articulated joint rod 35 made of steel such as is often used in mechanical engineering and in vehicle construction and which is provided with joint eyes 36 at its two ends. The articulated joint rod 35 can be subjected to tensile or compressive stress in the longitudinal direction. To monitor its stressing there are adhesively secured to diametrically opposite sides of the rod, in the longitudinal direction of the rod, light waveguides 37 which are connected to one another at one of the ends 37a whereas their other ends 37b are connected to a light measuring and monitoring apparatus 15. The light waveguides 37 used in this case are prestressed not against the component 35 but in themselves, i.e. they have an inherent stress state. One such light waveguide 37 is shown diagrammatically in FIG. 10.

This light waveguide 37 consists of a light-conducting fibre 40 made of quartz glass or another light-conducting material, which is embedded in an envelope 41 of fibre compound material. To obtain a good adhesion bond between the light-conducting fibre and the fibre

5,044,205

7

compound material it is also possible to arrange on the outer periphery of the light-conducting fibre 40 an intermediate layer 42 having a rough surface, or a wire helix, which additionally increases the response sensitivity of the light waveguide when the latter is elongated, as is known per se. But as compared with the known arrangements the light waveguide according to the invention has the feature that the light-conducting fibre 40 is prestressed relatively to the envelope 41 surrounding it and is connected under axial tensile stress over its entire length to the envelope 41. Thus an internal stress state prevails within the light waveguide.

A simple way of manufacturing the light waveguides of the kind shown in FIG. 10 and used in the articulated joint rod according to FIG. 9 is that when the light-conducting fibre is brought together with its envelope the reel from which the light-conducting fibre is drawn off is braked to produce in the said fibre a tensile stress which is maintained until the envelope has set and a henceforth non-releasable connection is established between the light-conducting fibre and the envelope which surrounds it. The braking action of the reel is advantageously variable, so that the prestressing of the light-conducting fibre relatively to its envelope can be varied and adapted to the then actual requirements.

The light waveguide produced in this way and prestressed in itself can be cut to any length from a supply and applied loose to be secured to the particular component being monitored, along any line especially including curved lines, for example by adhesive securing, or incorporated in the mass of the component. It may include not one but several light-conducting fibres, which are arranged in the same envelope and may also be subjected to differing prestress, so that the same light waveguide can be used for different load ranges, in which case either the one or the other, or both, light-conducting fibres are connected to the optical measuring and monitoring apparatus.

The invention is not limited to the constructional examples which have been illustrated and described, and instead a plurality of modifications and additions are possible without departing from the scope of the invention. For example it is possible for the light waveguides of a plurality of components to be connected to one another and connected jointly to an optical measuring and monitoring apparatus. Moreover light waveguides prestressed both relatively to the component and also in themselves can be used for the monitoring of the most varied components of vehicles, machines, building structures etc. which are subjected to pulsating or alternating load and deformation.

We claim:

1. In a method for monitoring deformations of components by means of light waveguides which are connected securely to the component at least over part of

8

the length of the latter and are connected to a measuring apparatus with which the transmitting capacity of the light waveguides and the transit time and/or the damping of the light pulses sent through the light waveguides are continuously or intermittently monitored, the improvements comprising: a light waveguide being mechanically prestressed at least to such an extent before being securely connected to the component that at all levels of deformation to be expected in the component the stressing of said waveguides remains in the tension range; said light waveguide being laid in a casing tube arranged within or outside of the component and connected securely thereto; and, said light waveguide being mechanically prestressed in said casing tube and connected securely to said casing tube by grouting said casing tube with a composition which adheres to said tube and to said light waveguide.

2. The improvements according to claim 1, wherein said light waveguide is connected fast to said casing tube surrounding it only in the tensile stress region of said component, and in the remaining regions of said component is guided to be longitudinally movable in said casing tube.

3. A method for monitoring deformations of at least one component by means of light waveguides having a length comprising the steps of:

prestressing said light waveguide such that said waveguide remains in tension at all levels of deformation to be expected in said at least one component;

securing said waveguide to said at least one component continuously over at least one appreciable portion of said waveguides length; and measuring at least one characteristic of light transmitted through said waveguide.

4. The method of claim 3 wherein said characteristic is selected from the class of characteristics comprising transit time and damping.

5. The method of claim 3 wherein said at least one component has a length and said waveguide is secured to said at least one component over substantially the entirety of said length by adhesive bonding.

6. The method of claim 5 wherein said waveguide is secured within a casing tube and said casing tube is secured within said at least one component.

7. The method of claim 6 wherein said waveguide is only prestressed in region of anticipated deformation of said at least one component.

8. The method of claim 5 wherein said waveguide is secured within a casing tube and said casing tube is secured outside said at least one component.

9. The method of claim 8 wherein said waveguide is only prestressed in region of anticipated deformation of said at least one component.

\* \* \* \* \*

60

65